

HSDPA를 이용한 무인항공기 항법 모니터링용 Peer-to-Peer 통신 시스템 구현 연구

The Study of the Peer-to-Peer Communication System for a UAV Navigational Monitoring Using a HSDPA

김호균*, 송준범*, 송우진**, 강범수*

Ho-Gyun Kim*, Jun-Beom Song*, Woo-Jin Song** and Beom-Soo Kang*

요 약

본 논문은 상용 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)이동통신 모뎀을 이용한 무인항공기 항법 모니터링용 Peer-to-Peer 통신시스템 구현에 대하여 연구 하였다. 본 시스템은 통신 중계용 서버, 탑재통신 장비 및 다수의 모니터링 장치로 구성되며, 상용 HSDPA 모뎀을 이용하여 무인항공기 항법정보를 서버를 통하여 다수의 모니터링 장치로 실시간 전송한다. 본 논문에서는 이러한 시스템에서 발생할 수 있는 현상들을 관찰 하고자 지상실험 및 비행실험을 통해 데이터를 확보 하였다. 실험 결과, 통신환경에 따라 탑재통신장치와 모니터링 장치 사이의 지연시간이 평균 약 300msec 가량 측정 되었으며, 탑재통신장치와 서버간의 데이터의 체증(congestion) 및 패킷 손실이 발생 하였지만, 차량을 이용한 고속의 장거리 이동 테스트와 무인기 비행에 의한 고도 테스트를 통하여 무인기 항법 모니터링 시스템 구현이 가능함을 확인 하였다.

Abstract

This paper presents a realization of a peer-to-peer communication system for a UAV navigational monitoring using a commercial HSDPA(High Speed Download Packet Access) mobile communication device. The realized system consists of a communication server, an air data terminal and multiple ground monitoring devices, where the server transfers navigational data from a UAV to multiple monitoring devices in real-time with commercial HSDPA modem. Through ground and flight tests, data were obtained to observe the realized system. Test results show that, depending on communicational environment, about 300msec delay, congestion and packet-loss between air data terminal and ground monitoring devices. Nevertheless, through high-speed long range test on a ground vehicle and altitude test with a UAV flight, the feasibility of a UAV navigational monitoring system was observed.

Key words : UAV, HSDPA, WCDMA, Mobile Communication

* 부산대학교 항공우주공학과(Dept. Aerospace Eng., Pusan National University)

** 부산대학교 부품소재산업협력연구소(Industrial Liaison Innovation Center, Pusan National University)

· 제1저자 (First Author) : 김호균

· 교신저자 (Corresponding Author) : 강범수

· 투고일자 : 2011년 10월 6일

· 심사(수정)일자 : 2011년 10월 6일 (수정일자 : 2011년 11월 9일)

· 게재일자 : 2011년 12월 30일

I. 서 론

현재 운용 중인 무인항공기는 주로 극초단파 통신이나 위성통신 방식을 주로 채택하고 있다. 하지만 극초단파 통신의 경우, 운용반경의 제약이 크고 위성통신은 운용비용이 크다는 단점이 있다[1]. 또한, 소형무인항공기의 경우 유효탑재하중의 여유가 많지 않기 때문에 항전장비의 소형화가 필요하다[2]. 최근 이러한 문제점 해결을 위한 방법으로 이동통신 시스템을 무인항공기용 통신 시스템에 적용하는 연구와 하나의 단말로 다양한 서비스망에서의 운용을 위한 Multi-core 시스템 형태의 연구가 진행되고 있다[3][4]. 현재 우리나라 이동통신망은 3.5세대 HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)와 3.9세대 WiBro(Wireless Broad band Internet) 그리고 4세대 LTE(Long Term Evolution)통신망이 구축되어 있다. 하지만 HSDPA는 업로드 통신 속도가 낮고, WiBro와 LTE는 아직 전국망으로의 완벽한 서비스가 이루어지지 않은 단점을 가지고 있어 무인비행체와 GCS(Ground Control Station)간의 완벽한 Point-to-Point 통신을 위한 연구가 주로 진행되어 왔다. 본 논문에서는 HSDPA 망을 사용하여 Peer-to-Peer 통신방식을 무인항공기 통신 시스템에 적용하여 비행정보를 다수의 모니터링 장치에서 확인할 수 있도록 구성하였다. 비록, HSDPA는 업로드 속도가 낮고 연결 끊김 현상이 발생하는 단점을 지니고 있지만[5], 넓은 커버리지와 사용하고자 하는

FCC(Flight Control Computer)의 통신 속도를 만족하기 때문에 단순히 모니터링을 위한 시스템이라면 활용 가능할 것으로 판단되어, 본 연구에 HSDPA를 적용하였다. 또한, 이러한 취약점은 LTE 서비스가 본격화되고 안정화되어 진다면 좀 더 안정된 성능을 기대할 수 있다. 본 연구는 HSDPA의 특정 커버리지 내에서 사용자의 입장에서 이루어진 실험으로 절대적인 것은 아니지만, 3차원 비행을 하고 여러 홉의 연결 구간을 거치는 통신환경에서 발생할 수 있는 여러 현상들을 발견함으로써 향후, 연구 방향에 그 가능성을 제시할 수 있다고 판단된다.

II. 통신 시스템 구조

2-1. 통신 시스템 개요도 및 시스템 구성

통신 시스템은 상용 HSDPA 모뎀을 무인항공기의 탑재통신장치(Air Data Terminal, ADT)로 장착하고 지상에 Server와 다수의 모니터링 장치(HSDPA 사용)를 구성하여, 무인항공기의 기본적인 비행정보를 Server를 통하여 다수의 모니터링 장치로 실시간으로 데이터를 전송하도록 하였다. 통신 시스템의 개요도는 그림 1과 같다. 그리고 통신 시스템의 외부 인터페이스는 탑재 통신장치와 지상통신장치(Ground Data Terminal, GDT)로 구성 되고, 탑재통신장치는 다시 HSDPA 모뎀 송·수신부와 통신 제어보드 그리고 패치 형 안테나 중계기로 구성 된다. 패치형 중계기는 고도에 따라 신호의 수신율이 지상에 비해 낮아지거나 통신 가능 고도가 달라질 수 있으나, 이는 지

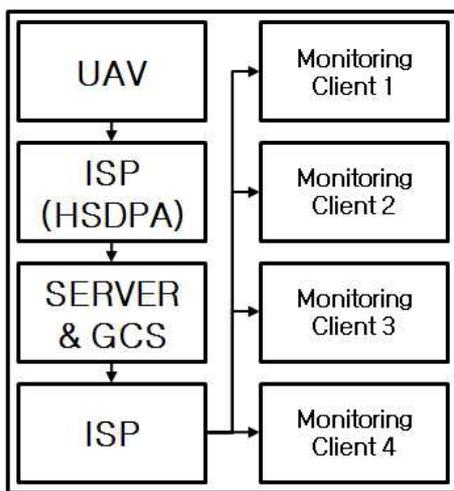


그림 1. 멀티 통신 시스템 개요도
Fig 1. Schematic of multicommunication system on UAV

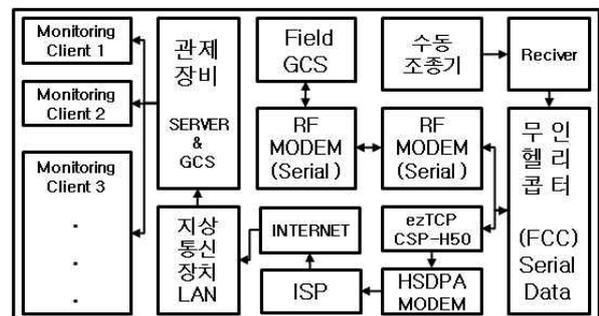


그림 2. 통신시스템 외부 인터페이스
Fig 2. External communication system interface

상에서의 커버리지가 확보 될 경우 어레이 안테나를 사용하여 이 문제를 해결 할 수 있다[4][6]. 아울러, 지상통신장치는 유선 서버와 무선 또는 유선 인터넷을 사용한 모니터링 장치로 구성 된다. 외부 인터페이스는 그림 2와 같다.

2-2. 탑재통신장치의 구조

본 연구에 이용된 무인헬리콥터의 FCC는 그림 3과 같이 57600 Baud Rate로 490 byte/sec의 데이터를 시리얼 통신으로 전송하고 올바른 데이터의 확인을 위해 Checksum을 1 byte 추가 하여 GCS에 확인할 수 있도록 하였으며, 씨모텍 社의 CHU- 629S HSDPA(업로드 394 kbps) 상용 모뎀을 사용하여 그 요구 사항을 만족 시켰다. 모뎀의 제품사양은 표 1과 같다. 그리고 보유중인 FCC는 입/출력 통신방식이 시리얼 방식으로 구성되어 2.4 GHz의 RF 모뎀이 장착되어 사용된다. 그래서 실험을 위해 솔내시스템社의 CSP- H50 모듈을 사용하여 시리얼통신을 TCP/IP 통신으로 변경하고[7], CSP-H50이 지원하는 CHU-629S 모뎀을 장착하여 구현 하였다.

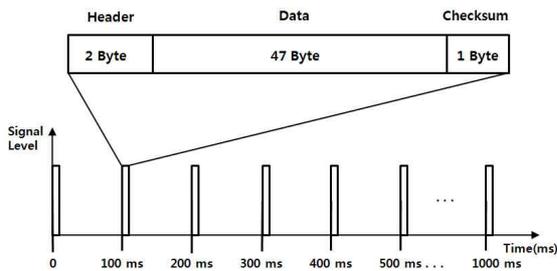


그림 3. 패킷의 구조
Fig.3 Packet Structure

표 1. HSDPA 모뎀 사양

Table 1. HSDPA modem specification

Model No.	CHU629S
Technology/Band	HSUPA 2.1GHz
Data Throughput	다운로드 7.2Mbps, 업로드 5.76Mbps
Antenna Diversity Support	YES
Device Dimension/Weight	65.2(H) * 32(W) * 11.6(T) / 22g
Optional External Antenna	NO
Environmental	동작온도 : -20°C to 50°C 저장온도 : -30°C to 70°C 습도: 95% (Non-Condensing)

음영지역에서 전송성능이 감소하는 상황이 발생하면 FCC에서 지속적으로 보내오는 데이터에 의해 모뎀에 과부하가 발생하여 데이터 흐름에 체증 (congestion)이 생길 수 있다[5]. 이러한 현상을 해소하기 위해 흐름제어를 위한 제어장치를 추가하여 전송 속도가 2000 bit/sec로 떨어질 경우 데이터 전송을 잠시 중단하게 하여 음영지역에서의 체증을 처리할 수 있도록 구현 하였다. 탑재통신시스템의 데이터 흐름은 그림 4와 같다.

2-3. 지상통신장치의 구조

무인항공기 지상 통신시스템의 데이터 흐름은 그림 5와 같다. 서버는 Windows TCP/IP(Transmission Control Protocol/Internet Protocol) 비동기 Multi thread 기반으로 소켓 프로그래밍 하였고, 기존에 설치된 유선 인터넷망으로 탑재통신장치의 데이터를 전송받아 버퍼에 저장한 다음 접속한 모니터링 장치로 바로 전송하는 방식으로 프로그래밍 하였다. 본 실험에서의 모니터링 통신장치는 탑재통신장치와 같은 모뎀인 CHU-629S 모뎀을 사용하여 이 시스템의 성능을 실험 하였다.

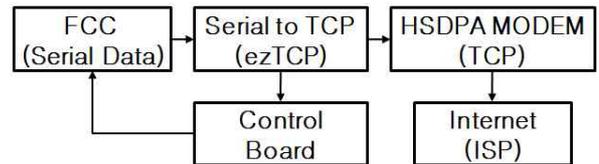


그림 4. 탑재 통신장치 데이터 흐름도
Fig 4. Data flow of ADT

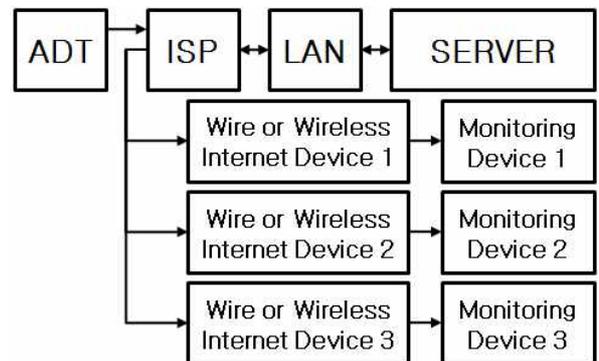


그림 5. 지상 통신장치 데이터 흐름도
Fig 5. Data flow of GDT

Ⅲ. 실험절차 및 성능실험

성능의 검증에 앞서 안전한 비행과 실험 환경에 대한 비교를 위해 실험 절차를 구분하여 계획 하였다. 크게 1단계 Client(ADT)-Sever(GDT)통신과 2단계 Client(ADT)-Sever(GDT)-Client(Monitoring)간의 통신으로 나누어 시스템을 구성하고 HSDPA의 커버리지 내에서 직접적인 필드 실험을 통해 실제로 측정된 수치적인 실험 결과로 제안한 통신시스템의 안정성 및 활용 가능성에 대해 평가 하였다. 통신 속도는 보류 중인 FCC가 3920 bit/sec로 비행 데이터를 송신하면, 지상의 통신 테스트 프로그램이 수신된 일정량의 패킷을 확인하여 통신 속도를 측정 할 수 있도록 구성 하였다. 지연시간은 모니터링 장치에서 10초에 한 번 씩 3920 bit의 한 패킷을 ADT로 보내어 모두 돌아오는 시간을 측정하여 그 시간을 반으로 나누어 지연시간을 측정할 수 있도록 하였다.

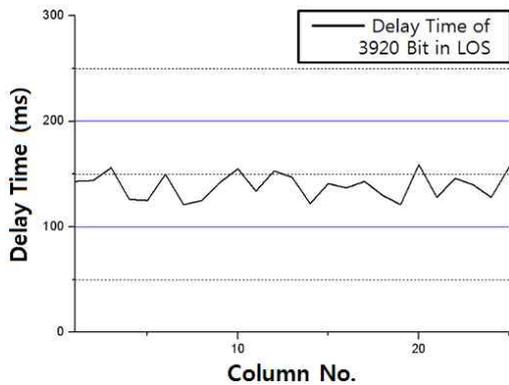


그림 6. LOS내 지연시간
Fig 6. Delay time in LOS

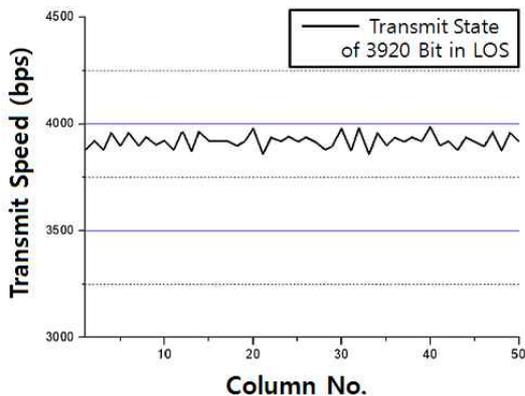


그림 7. LOS내 통신 상태
Fig 7. Communcation state in LOS

3-1. ADT-Server(1단계) 지상 통신 실험

본격적인 실험에 앞서 1단계 통신실험은 2단계에서의 ADT(Client)-GDT(Sever) 구간까지의 통신에서 일어날 수 있는 문제점을 파악하기 위하여 수행되었다. 차량 주행실험을 위한 1차적 실험으로 LOS(Line of Sight) 내에서 ADT(HSDPA)-GDT (Ethernet)의 연결로 주행궤적 시험을 실시하였다. 2차적으로는 동일한 방법으로 차량주행 실험을 수행하였다.

3-1-1. LOS 내 주행시험

통신 장비의 경우, 주위 환경에 아주 민감하게 반응한다. 따라서 LOS 내의 ADT-Server와의 통신을 통해 비행체의 움직임과 GCS의 GUI(Graphic User Interface) 움직임을 확인하고 그 비교대상으로 2.4 GHz 대역 RF통신과 동시에 실험하여 GUI 움직임

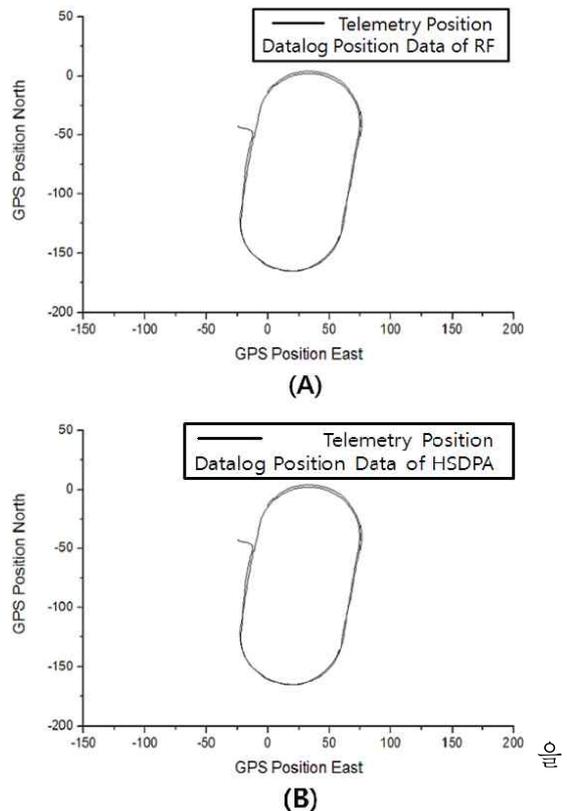


그림 8. GPS 주행 궤적(A. RF, B. HSDPA)
Fig 8. GPS driving trajectory(A. RF, B. HSDPA)

육안으로 비교 하였다. 이것은 이동통신과 RF통신

을 비교하여 비슷한 성능을 확인 한다면, 활용 측면에서 양호한 성능을 발휘 한다는 것을 의미한다. 그래서 ADT를 5km/h의 속도로 이동하며 통신 상태를 측정하였다. 그림 6과 7은 전송속도와 지연시간을 측정한 결과이다. 3920 bps의 FCC 데이터를 최대 3983 bps, 최소 3875 bps로써 표준 편차 118 bps로 평균 3922 bps로 전송된 것을 확인할 수 있었다. 그리고 지연시간은 최대 157ms, 최소 121ms, 평균 139ms로 측정되었고, FCC에서 전송받은 GPS 속도성분 및 주행 궤적의 데이터를 RF와 비교 분석한 결과, 그림 8과 같이 데이터가 일정하고 원활하게 전달하고 있음을 보여 주었다. 또한, HSDPA와 RF 통신의 두 GUI의 움직임을 육안으로 비교한 결과, 그림 9와 같이 GUI의 움직임이 RF 방식과 큰 차이점이 없음을 확인할 수 있었다.

3-1-2. 차량탑재 주행 통신 실험

이동통신은 이동속도가 빨라짐에 따라 전송속도에 영향을 미친다. 그러므로 이동속도에 따른 탑재통신장치의 통신 상태를 확인 하여야 한다. 그래서 장거리 통신 확인을 위해 차량에 통신장비를 탑재하여 속도변화에 따른 통신실험을 실시하였다. 이동경로는 부산 시내에서 경남 양산 시내 까지 고속도로를 이용하여 직선거리로 약 12.22 km 이동하였고, 같은 방법으로 8번의 실험을 수행 하였다. 그 결과, 한 번의 실험에서는 모든 데이터를 안정적으로 받을 수 있었으나, 나머지 실험에서는 30~90 Km/h의 차량 속도 범위에서 전송속도가 한번 이상 2000 bps이하로 통신 속도가 급격히 감소하였다. 그래서 제어보드가



그림 9. GCS의 GUI 비교
Fig 9. Comparison of GUI in GCS

데이터 전송을 5초간 멈춘 후 데이터를 재전송 하여

모뎀의 체중을 완화하여 전송 상태를 회복 하였다. 그 결과의 일부분을 그림 10에 나타내었다. 이러한 결과들을 살펴보면, 차량 속도가 통신 성능에 영향을 미친 것으로 분석은 되지만, 그림 14와 같이 90 Km/h 이상의 속도에서도 속도 데이터가 원활한 전송상태를 유지한 것으로 보아 이동속도가 직접적인 영향을 주었다고 결론짓는 것은 타당하지 않다. 이것은 이동 속도 뿐만 아니라 통신 시간대, 주위의 HSDPA 사용량, 통신 위치 등 각 환경 변수들이 복합적으로 통신에 영향을 준 것으로 판단된다[5][8]. 그리고 이동 중 몇몇 구간에서 GCS의 GUI Checksum에서 Checksum bad가 자주 표시되었다. 이것은 그림 3과 같이 수신 받은 데이터의 길이나 형식에 어긋나면 표시 되도록 사전에 프로그래밍 되었고, 데이터의 손실이나 에러를 의미한다.

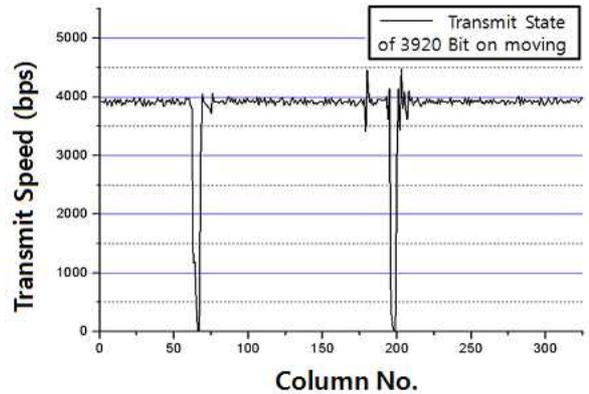


그림 10. 불안정한 차량주행 통신상태
Fig 10. Unstable communication state inside on the drive

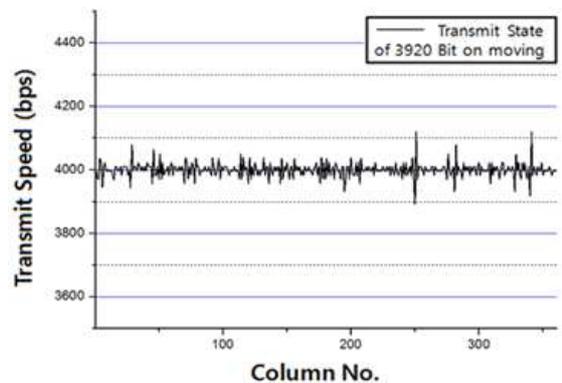


그림 11. 안정적인 차량주행 통신상태

Fig 11. Stable communication state on the drive

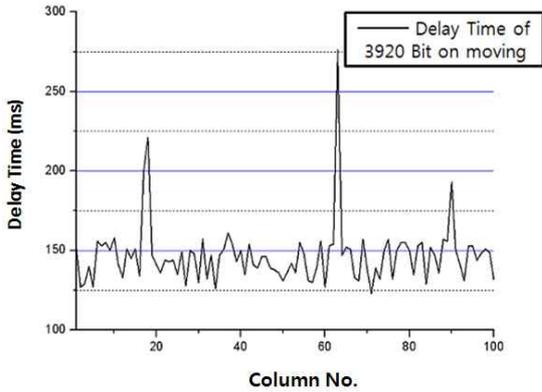


그림 12. 차량 주행시 지연시간
Fig 12. Delay time on the drive

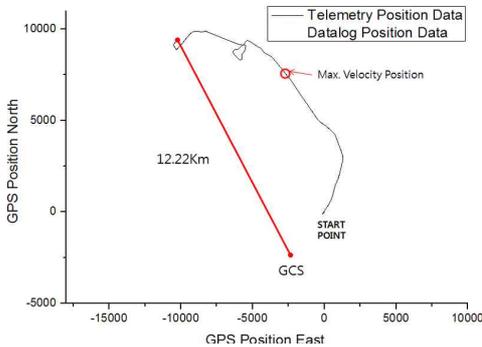


그림 13. GPS 차량 주행 궤적
Fig 13. GPS driving trajectory on the drive

이러한 현상은 통신 상태와 네트워크가 불안정하게 되면 각각의 경로를 구성하는 회선의 품질이 다르게 되어 먼저 보내어진 패킷이라도 나중에 보내어진 패킷보다 느려져 데이터의 순서가 바뀌는 문제가 발생해 에러가 발생하게 된다[5]. 그림 11, 12, 13은 통신이 원활할 때의 통신 상황을 보여 주고 있다. 약 0~120km/h의 차량속도에서 최소 3795bps, 최대 4,115bps의 편차로 전송속도 3,919bps의 통신 상태를 유지하며 GPS 속도성분 및 주행 궤적의 데이터가 전달되고 있는 것을 확인 하였고, 지연시간은 최대 276ms, 최소 123ms, 평균 147ms의 시간을 보였다.

3-2. 2단계 비행실험

앞 절의 1단계 실험을 바탕으로 2단계 실험을 실시하였다. 이것은 기존의 1단계 시스템에서 클라이언트(Monitoring) 두 개를 서버에 추가 접속하여 구성하였고, LOS내 지상실험과 비행 실험으로 나누어 수

행하였다.

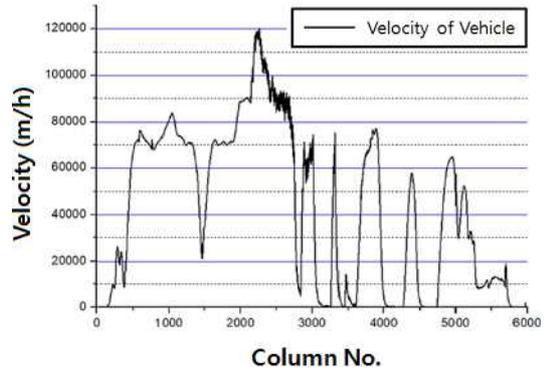


그림 14. 차량 속도 변화율
Fig 14. Velocity variation rate on the drive

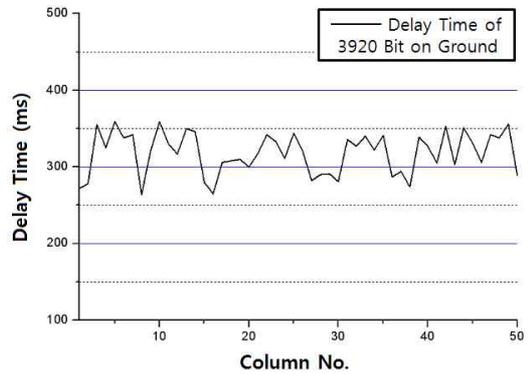


그림 15. 지상 지연시간
Fig 15. Delay time on the ground

3-2-1. LOS내 2단계 지상실험

지상시험은 모니터링 시스템의 최종 확인을 위한 비행실험에 앞서, 안전한 비행과 지상 및 비행중의 통신 상태를 비교하기 위하여 지상실험을 실시하였다. 시험 방법은 Server를 실내의 유선 인터넷으로 구성하고, 실외에서는 이동통신 커버리지 내에서 ADT와 모니터링 장치를 고정 위치에 두어 각각 서버에 접속한 다음 통신 속도와 지연시간을 측정하였다. 그 결과 전송속도에서는 1단계 실험과 비교했을 때 비슷한 성능을 보였지만, 지연시간은 그림 15와 같이 두 배 이상을 상회하는 평균 321ms의 지연시간을 보였다. 그리고 FCC를 고속으로 회전 시켰을 경우, 모니터링 장치의 자세계를 RF통신의 자세계와 비교하였을 때, 그림 16과 같이 육안으로 그래픽이 지연되는 현상을 확인 할 수 있었다. 이것은 1단계 차량 주행 실험의 평균 지연시간 147ms의 2배인 294ms

(ADT-Server-Monitoring)에서 서버와 모니터링 장치 사이의 자체 데이터 처리 시간이 더해진 것으로 분석 가능하며, TCP 처리량은 round-trip -time에 역 비례한다[9]. 그러므로 모니터링 장치 성능 향상을 위해서는 모니터링 장치에 유선 인터넷을 사용하는 것이 효과가 있을 것이다. VoIP(Voice over Internet Protocol)의 경우, 수용할 만한 통신품질을 위해서는 250ms 이내의 지연시간이 요구되는데[10], 이 실험의 경우 자세계의 그래프가 육안으로 지연되는 것으로 보아 즉각적인 모니터링을 요구하는 무인항공기에는 HSDPA 망은 적절하지 않다고 판단된다.

3-2-2. 비행실험

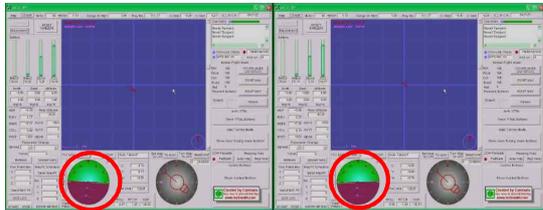


그림 16. GCS의 GUI 비교
Fig 16. Comparison of GUI in GCS

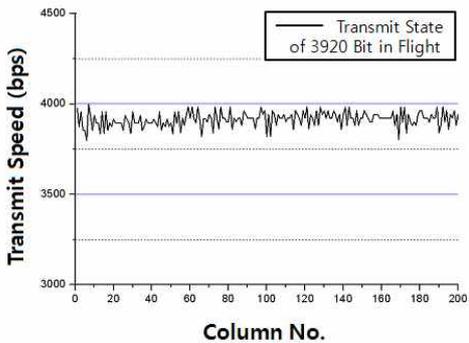


그림 17. UAV 비행중 통신상태
Fig 17. Communication state of UAV in flight

고도변화에 따른 신호 수신율은 지상에서 고 고도로 이동할수록 수신율이 달라지고, 이는 곧 전송속도에 영향을 미치므로 실제적인 비행시험을 실시하였다. 비행시험을 위한 ADT의 인터페이스는 비행체에 패치형 중계기를 지면으로 향하도록 장착하여 고도에 따른 문제점은 해결 하였다. 그래서 지상시험에서 갖춰진 시스템에 ADT를 서버에 접속시켜 모니터링 측 클라이언트에서 통신 속도와 지연시간을 측정 하였

다. 실험 결과 그림 17, 18의 그래프와 같이, 최대 4000 bps, 최소 3640 bps의 편차로 평균 3920 bps의 FCC 데이터를 무리 없이 수신 받았지만, 지연시간의 경우 2 단계 지상실험과 같이 최대653ms, 최소 261ms, 평균 318ms로 여전히 높은 지연 시간을 보였다. 수신 받은 GPS의 상승속도를 측정 한 결과, 비행체가 최대 약 1.2 m/s의 상승률로 상승하면서 데이터를 안정적으로 전달하고 있음을 그림 19, 20에서 확인 할 수 있다.

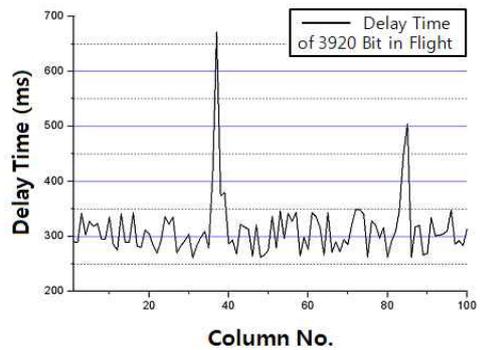


그림 18. UAV 비행중 지연시간
Fig 18. Delay time of UAV in flight

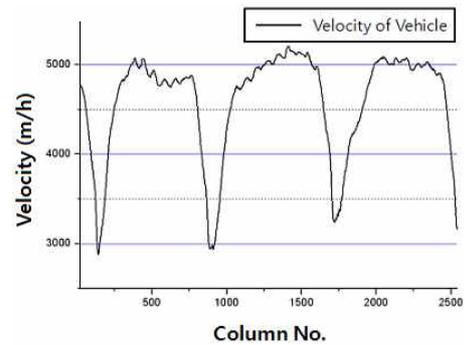


그림 19. UAV 비행 속도 변화율
Fig 19. UAV of velocity change rate in flight

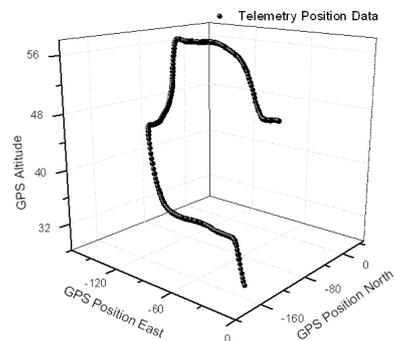


그림 20. UAV 비행시 GPS 궤적
Fig 20. GPS trajectory of UAV in flight

IV. 결 론

참 고 문 헌

통신장비에 대한 여러 가지 성능 분석 및 개발시험을 통해 통신시스템의 기본설계를 수행하고, 지상 및 비행통신실험을 통하여 비행체의 이동에 따른 통신 특성을 살펴보았다. 실험이 특정 커버리지 내의 장소에서 이루어진 실험이라 절대적인 성능은 아니지만 기초적인 문제점과 활용 가능성에 대해서는 몇 가지 흥미로운 관찰을 할 수 있었다. 먼저, 1단계 결과에서는 주위 환경의 변화에 다소 불안정한 영향을 미치는 것을 알 수 있었지만, 단순히 비행 상태를 모니터링하는 것은 무리가 없을 것으로 판단되었다.

두 번째, 2단계 실험에서는 HSDPA 망을 두 번 거치는 동안 지연시간이 상당 부분 누적 되었고, 이에 따라 육안으로 확인 될 만큼 RF 방식과 HSDPA의 GUI 자세계가 차이를 보였다. 이것 또한, 단순한 비행정보를 모니터링 하는 기능의 활용은 가능 하겠지만, 무인기를 직접 제어하기 위해 정확하고 빠른 데이터를 요구하거나, GUI를 보고 항공기를 직접 조종하는 시스템의 경우에는 비행 안전상 많은 위험이 따를 것으로 판단된다.

마지막으로, HSDPA는 상향 처리량이 너무 낮게 상용화 되어 무인항공기의 완벽한 통신 시스템으로 적용하는 것은 부족하다고 판단되지만, 앞으로 HSDPA에 비해 월등한 상, 하향 전송량과 패킷의 끊김에 강하다고 알려진 LTE 망이 좀 더 전국망으로 안정화되어 서비스 된다면, HSDPA망 보다는 안정된 통신 성능을 본 시스템에 적용 할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과입니다. 또한, 한국연구재단의 국가지정연구실 사업의 부분 지원(ROA-2008-000-200 17-0)에 의해 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

- [1] 박덕규, 강건환, 오세준, "스마트 무인기 기술개발사업 2단계 최종보고서: 무인기 통신 주파수 확보방안 연구", *산업자원부*, pp. 44, 2007. 5
- [2] 노민식, 송준범, 송우진, 강범수, "소형무인항공기를 위한 소형 경량 AHRS의 지상시험 및 성능평가", *한국항공학회 논문지*, 제15권 제2호, 2011. 04.
- [3] 고경환, 박평주, 이석신, 이병섭, "이종의 이동통신 시스템을 이용한 무인항공기 탑재용 통신 시스템 개발", *한국항공학회 논문지*, 제13권 제4호, 2009, 08.
- [4] 김완태, 조성준, "4G 이동통신 서비스를 위한 모델 구조와 PAPR 감소기법", *한국항공학회 논문지*, 제 14권 제2호, 2010, 04.
- [5] 문현선, 이경수, 민주홍, 조치호, 서현덕, 김효곤, "HSDPA와 Wibro를 통한 인터넷 성능 실측 연구". *한국정보기술학회논문지*, 제6권 6호, 2008. 12.
- [6] Pyung-Joo Park, Sung-Min Choi, Dong-Hee Lee, Byung-Seub Lee, "Performance of UAV communication system adapting Wibro with array antenna", *ICACT 2009. 11th international Conference on, Advanced Communication Technology*, Jan, 2009.
- [7] <http://www.eztcp.com>
- [8] Danyu, Zhu, Matt W.Mutka, Zhi Cen, "Using Cooperative Multiple Paths to Reduce File Download Latency in Cellular Data Networks", *Proc IEEE Globecom*, pp. 24-2484, 2005.
- [9] M.Methis, J. Semke, J. Mahdavi, and T. Ott, "The macroscopic behavior of the TCP Congestion Avoidance Algorithm", *Computer Communications Review*, 27(3), July 1997.
- [10] ITU-T Recommendation G.114, "One-way transmission time", Feb. 1996.

김 호 균 (金浩均)



2006년 2월 : 한국폴리텍항공대학
항공전자과(전문학사)
2006년 8월 : 평생교육진흥원
항공정비공학과(공학사)
2011년 3월~현재 : 부산대학교
항공우주공학과(석사과정)
관심분야 : 무인기 시스템 및
통신시스템, 무인기 임무장비, GCS 시스템

송 우 진 (宋宇眞)



1999년 2월 : 부산대학교
항공우주공학과(공학사)
2005년 8월 : 부산대학교
항공우주공학과(공학박사)
2006년 3월~현재 : 부산대학교
부품소재산학협력연구소 교수
관심분야 : 무인기, 소성가공
공정설계 및 항공기 구조해석

송 준 범 (宋濬範)



2005년 8월 : 부산대학교
항공우주공학과(공학사)
2005년 9월~현재 : 부산대학교
항공우주공학과(석,박사통합과정)
관심분야 : 무인기시스템 설계,
유도 및 제어, 임베디드 시스템
개발

강 범 수 (姜範洙)



1981년 2월 : 부산대학교
기계공학과(공학사)
1983년 2월 : KAIST
항공우주공학과(공학석사)
1990년 2월 : Mechanical Eng., Univ.
of California, USA(공학박사)
1991~현재 : 부산대학교
항공우주공학과 교수

관심분야 : 가변성형, 소성가공, 무인시스템 등